



Article Type: Original

## Relationship of Empathy with Mirror Neurons Activation in the Leader-Follower Task: A kinematic and Neuropsychological Evidence

Masoumeh Doosti<sup>1</sup>, Shahzad Tahmasebi Boroujeni<sup>2\*</sup>, Elham Shirzad Araghi<sup>3</sup>,  
Ali Ghazizadeh Ehsaei<sup>4</sup>

1. PhD in Motor Learning, Department of Behavioral and Cognitive Sports Sciences, Faculty of Sport Sciences and Health, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Professor, Department of Behavioral and Cognitive Sports Sciences, Faculty of Sport Sciences and Health, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Associate Professor, Department of Sports Pathology and Biomechanics, Faculty of Sport Sciences and Health, University of Tehran, Tehran, Iran.
4. Associate Professor, Department of Electrical Engineering and the Brain Research Center, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

**Received: 21/09/2023, Revised: 02/02/2024, Accepted: 05/02/2024**

\* Corresponding Author: Shahzad Tahmasebi Boroujeni, E-mail: [shahzadtahmaseb@ut.ac.ir](mailto:shahzadtahmaseb@ut.ac.ir)

**How to Cite:** Doosti, M., Tahmasebi Boroujeni, S., Shirzad Araghi, E. Ghazizadeh Ehsaei, A. (2025). The Relationship of Empathy with Mirror Neurons Activation in the Leader-follower Task: A Neuropsychological and kinematic Evidence. *Sport Psychology Studies*, 14(52), 23-43. In Persian

### Extended Abstract

#### Background and Purpose

Social interactions are related to concepts such as empathy. Studies show that there is a direct relationship between empathy and interpersonal coordination task performance in adults (Novembre et al., 2019) and children (Pfeifer et al., 2008). The phenomenon of interpersonal coordination is understood as the spontaneous temporal synchronization of body movements and/or language utterances between people when engaging in social interaction (Cornejo et al., 2017).

Mirror neurons (MNs) have been proposed as neural mechanisms of interpersonal coordination and empathy (Mu et al., 2018). However, despite the almost exclusive focus on the role of the alpha rhythm in empathy, a few studies have also reported the involvement of the beta rhythm (Levy et al., 2018; Riečanský et al., 2015). Therefore, the aim of the present study is to investigate the relationship between the activity of mirror neurons in



the leader-follower interpersonal motor coordination task with empathy.

### Material and Methods

First, the ethics code was received under the number (IR.SSRI.REC.1400.1123). The participants were 16 healthy right-handed girls, without visual impairment and psychological impairment, with an average age of  $25.47 \pm 3.4$  years, who voluntarily participated in the research. Balanced Emotional Empathy Scale (BEES) was used to evaluate of empathy. The task consisted of bimanual flexion and extension movement of the elbow joint, which was performed in 30 seconds with a designed sequence of right- and left-hand movements with a rhythm of 92 beat per minute (BPM). In the experimental condition, a pre-prepared video of a video model (VM) performing the task was shown to the participant on a 30-inch screen. The participant was asked to perform the task in sync with the VM when the movie started. Two video cameras with a speed of 30 Hz/second were placed on the right and left side of the participant at a distance of 1m from center of the table to track the elbow angle of the movement with Kinovea software. Using the cross-correlation (CC) method, the maximum correlation between the movement of the participant and the VM (Max-R) and the amount of delay per frame per second (Lag f/s) in the movement of the participant compared to the VM for both right and the left hands was obtained. The amount of wave

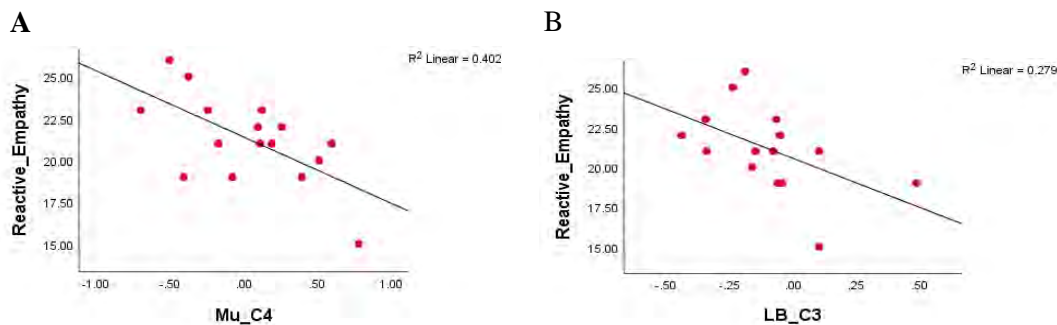
suppression was calculated using the logarithm of the ratio of the average absolute power of the frequency band (Mu, LB, and HB) in 30 seconds of performance to the baseline (one second before the start of the movie). Also, the partial correlation method was used to the correlation between empathy indices with MNs in three regions C3, Cz and C4 and three frequency bands with the kinematic indices as a control factor.

### Results

According to the Pearson correlation test results, the subscale of reactive empathy with Mu band suppression in the C4 area ( $P= 0.008$ ,  $r= -0.63$ ), LB ( $P= 0.035$ ,  $r=-0.52$ ) and HB ( $P= 0.038$ ,  $r=0.52$ ) has a direct relationship in the C3 region. In other conditions, no significant correlation was observed between empathy scales and MN activity ( $P> 0.05$ ). The results of correlation tests did not show a significant relationship between kinematic indices and empathy scales ( $P= 0.05$ ). Also, the results showed that the average power of the HB band in the C3 region has a direct relationship with the left-hand lag ( $r= 0.54$ ,  $P= 0.02$ ). Considering the significance of relation between reactive empathy and frequency bands, in order to control the effect of movement, Max-R and Lag of the right and left hands were entered into partial correlation test analysis as control variables. The results showed that the correlation of reactive empathy with the Mu band in the C4 region ( $P=0.013$ ,  $r = -0.69$ ) (Figure 1-a) and the LB band in the C3 region ( $r = -0.59$ ,  $P= 0.042$ ) (Figure 1-

b) remained, but the significance of HB band correlation in the C3 region with

reactive empathy disappeared ( $r = -0.51$ ,  $P = 0.08$ ).



**Figure 1:** Correlation of Mu-C4 (A) and LB\_C3 (B) bands power with reactive empathy

## Conclusion

The results of this research confirmed the relationship of empathy, especially reactive empathy, with the activity of MNs in the task of interpersonal motor coordination. Also, the direct relationship between HB power and left-hand Lag in the C3 area confirms that the delay in the execution of the movement is related to the increase in HB band power. This result may be due to inhibition of action in interaction with the model; Because more inhibition is reflected in increasing the power of the beta band (Endedijk et al., 2017). It seems that the sensory-motor mechanism that is responsible for simulating the actions of others and ultimately strengthening the predictive and effective feature in improving social cognition is related to the Mu and LB

bands. Considerations regarding the type of task, role in interaction (leader or follower) and frequency bands in the investigation of the neural mechanisms of empathy will be considered. Finally, MNs are not the only mechanism, and may not even be the dominant mechanism, but the reality is that the MNs system cannot explain all aspects of understanding and empathy. Social interactions depend on the brain's capacity to integrate self-generated (internal) actions with other people's motor output while maintaining the distinction between self and other in order to achieve independent control over actions. Therefore, the relationship between psychological and neurological dimensions in coordinated actions requires considering the behavioral considerations of the task. The results of this research can focus on the possibility of neural

interventions such as neurofeedback in increasing psychological characteristics such as empathy, especially in team sports athletes.

collect and analyze EEG data and also to all the participants in the research.

**Keywords:** Interpersonal coordination, Social Interaction, EEG, Mu rhythm, Beta.

### **Ethical Considerations**

#### **Compliance with ethical guidelines**

All participants completed the consent form in the research. The ethics code of this research was obtained from the Sport Sciences Research Institute under the number (IR.SSRI.REC.1400.1123).

#### **Funding**

This work was supported by the Iran High-Tech Laboratory Network and NBML (Grant No: P-99172).

#### **Authors' contributions**

MD: Initial idea, data collection and analysis, initial draft of the manuscript, final approval of the manuscript; ShTB: Initial idea, editing and final approval of the manuscript, supervisor. EShA: Data analysis, final approval of the manuscript, Advisor; AGE: Data interpretation and analysis, manuscript editing, Advisor.

#### **Conflicts of interest**

No.

#### **Acknowledgments**

The authors hereby express their gratitude to the National Brain Mapping Laboratory (NBML) for providing the possibility to



## مطالعات روان‌شناسی ورزشی

Journal homepage: <https://spsyj.ssric.ac.ir>



نوع مقاله: پژوهشی اصیل

### ارتباط همدلی با فعالیت نورون‌های آینه‌ای در تکلیف لیدر-پیرو: شواهد عصب-روان شناختی و کینماتیکی

معصومه دوستی<sup>۱</sup> ID، شهزاد طهماسبی بروجنی<sup>۲\*</sup> ID، الهام شیرزاد عراقی<sup>۳</sup> ID، علی قاضی زاده احسائی<sup>۴</sup> ID

۱. دکتری یادگیری حرکتی، گروه علوم رفتاری و شناختی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی دانشگاه تهران. تهران. ایران.

۲. استاد گروه علوم رفتاری و شناختی ورزشی دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران. تهران. ایران.

۳. دانشیار گروه آسیب شناسی و بیومکانیک ورزشی دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران. تهران. ایران.

۴. واحد تحقیقات هوش زیستی، مرکز مغز شریف، گروه مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰، تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۱۱/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶

\* Corresponding Author: Shahzad Tahmasebi Boroujeni, E-mail: [shahzadtahmaseb@ut.ac.ir](mailto:shahzadtahmaseb@ut.ac.ir)

**How to Cite:** Doosti, M., Tahmasebi Boroujeni, S., Shirzad Araghi, E. Ghazizadeh Ehsaei, A. (2025). The Relationship of Empathy with Mirror Neurons Activation in the Leader-follower Task: A Neuropsychological and kinematic Evidence. *Sport Psychology Studies*, 14(52), 23-43. In Persian

#### چکیده

**هدف:** هدف از مطالعه حاضر بررسی ارتباط بین فعالیت نورون‌های آینه‌ای در تکلیف هماهنگی حرکتی بین فردی لیدر - پیرو با همدلی است.

**مواد و روش‌ها:** شرکت‌کنندگان، ۱۶ دختر راست‌دست با میانگین سن  $25/47 \pm 3/4$  سال بودند که به صورت داوطلبانه در این پژوهش شرکت کردند. آزمودنی‌ها، ۲ کوشش ۳۰ ثانیه‌ای یک تکلیف هماهنگی حرکتی ریتمیک بین فردی را با یک الگوی ویدیویی، اجرا کردند.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد بین ریتیم بتابالا (HB) و میزان تأخیر در حرکت ارتباط مستقیم معنی‌داری وجود دارد. همچنین، سرکوب ریتیم مو و بتاپابین (LB) و HB با همدلی واکنشی ارتباط مستقیم معنی‌دار دارد. اما پس از کنترل متغیرهای رفتاری، ارتباط همدلی واکنشی با HB حذف شد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این مطالعه از هر دو فرضیه برتری نیمکره راست و فرضیه ظرفیت در بحث مکانیزم‌های عصبی همدلی حمایت می‌کند؛ به علاوه، اهمیت کنترل داده‌های رفتاری در تفسیر نتایج، نوع تکلیف و نقش فرد در تکلیف هماهنگی حرکتی بین فردی (لیدر / پیرو) می‌تواند جزء عوامل مؤثر در رابطه عصب-روانشناختی همدلی مورد توجه قرار بگیرد.

**کلیدواژه‌ها:** هماهنگی بین فردی، تعامل اجتماعی، الکتروانسفالوگرافی، ریتیم مو، بتا.



## مقدمه

تعاملات اجتماعی از بُعد روان‌شناختی، با مفاهیمی همچون همدلی<sup>۲</sup> مرتبط است. همدلی، به عنوان یک مفهوم، می‌تواند به صورت آزادانه به عنوان تجربه یا لحظه‌ای تعریف شود که خطوط «خود» و «دیگر» محو یا کنار گذاشته می‌شوند، به گونه‌ای که فرد می‌تواند به طور صمیمی با شخص دیگری ارتباط برقرار کند. همدلی، در بسیاری از موارد، از طریق درک احساساتی به دست می‌آید که گویی شما دیگری هستید. زمانی که اطلاعات حسی یا زمینه‌ای در دسترس نباشد، به سختی می‌توان به این درک عاطفی دست یافت. همدلی پدیده‌ای پیچیده است که جنبه‌ها و ابعاد مختلفی را در بر می‌گیرد. در واقع، درک مقاصد دیگران از طریق تجربه حالات ذهنی آنها ممکن است توسط فرآیندهای مختلف ایجاد شود (کورادینی و آنتونیتی، ۲۰۱۳). در زمینه‌های روان‌شناسی و علوم اعصاب، در تلاش برای روشن شدن مکانیسم‌های زیربنای درک مقاصد دیگران، بین سیستمی که به انسان اجازه می‌دهد بلافاصله مقاصد دیگران را درک کند و سیستمی که به انسان اجازه می‌دهد از طریق یک فرآیند استنتاجی به چنین نتیجه‌ای دست یابد تمایزاتی مشخص شده است. سیستم اول که به صورت شهودی و تجربه محور اتفاق می‌افتد، سریع و ناخواسته و تا حدی خارج از کنترل فرد است. با این حال، سیستم دوم تحلیلی، عامدانه و قضاوت محور است، که به آرامی بر اساس بازنمایی‌های انتزاعی و قواعد منطقی به دست می‌آید (استانویچ و وست، ۲۰۰۰). از منظر عصب‌شناختی، مفهوم پیشگامانه در این یافته این است که اقدامات دیگران نه تنها روی نورون‌هایی تأثیر می‌گذارد که وقتی با «دیگری» مرتبط می‌شوند، فعال می‌شوند، بلکه مجموعه‌ای از نورون‌ها را که به طور خاص به تمایز «خود» گره خورده‌اند را فعال می‌کنند (استوارد، ۲۰۰۷). ظرفیت رمزگذاری قیاس بین خود و دیگران ممکن است پیش نیاز اساسی برای توسعه شناخت اجتماعی باشد که به ایجاد پیوندهای اجتماعی معنادار بین افراد می‌انجامد. پیشنهاد شده است که سیستم نورون آینه‌ای<sup>۳</sup> (MNS) ممکن است مکانیسم عصبی فیزیولوژیکی بر اساس معادل خود/دیگر باشد

(پیفر و همکاران، ۲۰۰۸)؛ چرا که به عنوان پایه‌های بیولوژیکی شناخت اجتماعی تعریف شده است (کورادینی و آنتونیتی، ۲۰۱۳). این نورون‌های قشری نه تنها در زمان اجرای خود ما، بلکه زمانی که در حال مشاهده چگونگی اجرای عملی ویژه هستیم، فعال می‌شوند (یاوری و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعات گذشته از ارتباط همدلی با نورون‌های آینه‌ای حمایت می‌کند (آنتونیتی، ۲۰۱۳).

در ارتباط با رفتارهای همدلانه، شناخت، همدری، درک و احساسات دو دیدگاه نظری با رویکرد برتری نیمکره‌ای مغز وجود دارد؛ دیدگاه نیمکره راست<sup>۴</sup> از فعالیت بیشتر نیمکره راست در بُعد روانشناسی تعاملات اجتماعی حمایت می‌کند. اما "فرضیه ظرفیت"<sup>۵</sup> با بسط بیشتر، بیان می‌کند نیمکره چپ برای پردازش احساسات مثبت و نیمکره راست در پردازش احساسات منفی مشارکت می‌کنند (جیانوتی، ۲۰۱۹). طبق نتایج مطالعه‌ای، موقعیت‌های هیجانی منفی موجب افزایش فعالیت باندهای با فرکانس کم (تتا و دلتا) در قشر پیش پیشانی<sup>۶</sup> است می‌شود، در حالی که موقعیت‌های مثبت موجب افزایش فعالیت این باندها در قشر پیش پیشانی سمت چپ می‌شود (بالوسینی، ۲۰۱۵). در همین راستا، نشان داده شده است که جانبی شدن نوسانات مغز در باندهای فرکانسی خاص یک پیش‌بینی‌کننده مهم نمرات همدلی گزارش شده توسط افراد است. اما، برای پیش‌بینی دقیق همدلی - به عنوان یک ویژگی شخصیتی - بر اساس داده‌های EEG نیازی به تحریک هیجانی نیست (کویچ و علیمردانی، ۲۰۲۰).

از طرف دیگر، انسان‌ها به طور ناخودآگاه هماهنگی رفتاری، حرکتی و زبانی در طول تعامل با دیگران را از خود نشان می‌دهند (کورنچو و همکاران، ۲۰۱۷) و به عنوان موجودات اجتماعی، مکانیسم‌های درونی برای توسعه و حفظ پیوندهای اجتماعی با یکدیگر دارند که هماهنگی بین‌فردی<sup>۷</sup> می‌تواند یکی از آنها باشد (ویکاریا و دیکنز، ۲۰۱۶). پدیده‌های هماهنگی بین‌فردی به عنوان همگام‌سازی زمانی<sup>۸</sup> خودبخودی حرکات بدن و / یا گفته‌های زبانی بین افراد هنگام درگیری در تعامل اجتماعی<sup>۹</sup> درک شده است (کورنچو و همکاران، ۲۰۱۷). ارتباط دو

6. Pre frontal

7. Interpersonal Coordination

8. Temporal Synchronization

9. Social Interaction

1. Social interactions

2. Empathy

3. Mirror neuron

4. Right-hemisphere hypothesis

5. Valence Hypothesis

(۲۰۱۵). به نظر می‌رسد تحلیل و مقایسه باندهای فرکانسی مرتبط با مبانی عصبی همدلی با محدودیت مطالعات مواجه باشد. بر این اساس، تحقیق حاضر به طور ویژه، به دنبال بررسی ارتباط فعالیت سه باند مو (۸-۱۲ هرتز)، بتا پایین<sup>۴</sup> (LB) (۲۰-۱۳ هرتز) و بتا بالا<sup>۵</sup> (HB) (۲۱-۳۰ هرتز) به عنوان شاخص فعالیت MN در سه منطقه C3، C4 و C5 با همدلی است. هم چنین مطالعات قبلی عموماً بر تکالیفی همچون احساس درد بدنی (دلوار و همکاران، ۲۰۱۲)، موسیقی (نوامبر و همکاران، ۲۰۱۹)، روابط بین فردی پزشک و بیمار (هوانگ و همکاران، ۲۰۲۳)، شناسایی حالت چهره (ماکسیمیانو-بارتی و همکاران، ۲۰۲۲) متمرکز شده‌اند و تکلیف هماهنگی حرکتی بین فردی (به شکلی که در مهارت‌های حرکتی در ورزش‌های گروهی مشاهده می‌شود) تا جایی که نویسندگان این مطالعه اطلاع دارند، مورد مطالعه قرار نگرفته است. بنابراین، با توجه به مطالعات قبلی، نوع تکلیف در تحقیق حاضر که جنبه-های حرکتی بیشتری نسبت به مطالعات پیشین در حوزه همدلی دارد و مد نظر قرار دادن سه باند فرکانسی مو، LB و HB که به عنوان شاخص فعالیت MN هستند، از نوآوری‌های این پژوهش در نظر گرفته می‌شود؛ همچنین این مطالعه قصد دارد ضمن آنکه ارتباط نتایج کینماتیکی تکلیف هماهنگی بین فردی را با فعالیت MN و همدلی بررسی می‌کند، به این پرسش نیز پاسخ دهد آیا نتایج حرکتی برآورد شده از شاخص‌های کینماتیکی می‌تواند ارتباط عصب-روان شناختی همدلی را تحت تأثیر قرار دهد؟

### روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر به لحاظ هدف، توسعه‌ای و از نوع تحقیقات توصیفی است.

### شرکت‌کنندگان

شرکت‌کننده ها، ۱۶ دختر سالم راست دست، بدون اختلال بینایی و اختلال روان‌شناختی با میانگین سنی  $25/47 \pm 3/4$  سال بودند که طی یک فراخوان در گروه‌ها و شبکه‌های اجتماعی، به صورت داوطلبانه برای شرکت در تحقیق، اعلام آمادگی نمودند و فرم رضایت

طرفه‌ای بین رفتارهای همدلانه و هماهنگی بین فردی وجود دارد که متقابلاً باعث بهبود یکدیگر می‌شوند (کلر و همکاران، ۲۰۱۴). مطالعات نشان می‌دهد بین همدلی و عملکرد تکلیف هماهنگی بین فردی در بزرگسالان (نوامبر و همکاران، ۲۰۱۹) و کودکان (پیفر و همکاران، ۲۰۰۸) ارتباط مستقیم وجود دارد. در توضیح مکانیزم‌های عصبی هماهنگی بین فردی و همراستا با مبانی عصبی همدلی، چنین عنوان می‌شود که بسیاری از مناطق مغز از دو سیستم مشتق شده‌اند: MNS و سیستم ذهنی<sup>۱</sup> سیستم آینه‌ای در آماده‌سازی عمل خود فرد و شبیه‌سازی اعمال دیگران نقش اجرا می‌کند، در حالی که سیستم ذهنی شامل پیش‌بینی قصد دیگران است (مو و همکاران، ۲۰۱۸).

مطابق یافته‌های حاصل از پژوهش‌های پیشین، سرکوب ریتم مو (۸-۱۲ هرتز) و بتا (۳۰-۱۳ هرتز) که به عنوان شاخص فعالیت نورو-های آینه‌ای در قشر حسی- حرکتی شناخته شده‌اند و توان آن‌ها هنگام مشاهده و اجرای عمل، کاهش می‌یابد (فستان و همکاران، ۲۰۱۸، اندجیک و همکاران، ۲۰۱۷، براندسون و همکاران، ۲۰۲۰)، اتفاق می‌افتد. از سویی، مطالعاتی که به مکانیزم عصبی همدلی پرداخته‌اند، عمدتاً دخالت ریتم آلفا را گزارش کرده‌اند. فعالیت باند آلفا در پردازش شناختی و احساس مورد مطالعه قرار گرفته است. هم‌چنین آن را دارای یک نقش کنترل مهارتی قشر مغز که توسط افزایش قدرت باند آلفا منعکس می‌شود، در نظر گرفته‌اند که در ترجمه داده‌های حسی به پردازش‌های حرکتی مشارکت دارد (واندرورت و همکاران، ۲۰۱۳). به علاوه هر دو باند مو و بتا در پیش‌بینی عمل درگیر است و ریتم بتا نیز به طور ویژه در به روزرسانی پیش‌بینی<sup>۲</sup> و بازنمایی خطاها نقش دارد (اندجیک و همکاران، ۲۰۱۷). نقش ریتم بتا در پردازش‌های ادراکی و شناختی مورد تأیید مطالعات قبلی قرار گرفته و به طور ویژه بیان می‌شود که این ریتم با حفظ وضعیت فعلی مرتبط است. به بیان دیگر در پردازش‌های بالا-پایین شناختی برای حفظ وضعیت موجود در قبال محرک خارجی غیرمنتظره عمل می‌کند. علیرغم تمرکز تقریباً انحصاری بر نقش ریتم آلفا در همدلی، چند مطالعه دخالت ریتم بتا را نیز گزارش کرده‌اند (لوی و همکاران، ۲۰۱۸، ریکانسی و همکاران،

4. Low beta  
5. High beta

1. Mental system  
2. Prediction updating  
3. Status quo

و الکتروود مرجع روی لاله گوش راست قرار گرفت. ثبت با فرکانس نمونه برداری ۵۱۲ هرتز انجام گرفت.

#### تکلیف

تکلیف شامل حرکت فلکشن و اکستنشن متناوب (دو دستی) مفصل آرنج بود که در زمان ۳۰ ثانیه با یک توالی طراحی شده از حرکات دست راست و چپ با ضرب آهنگ ۹۲ تکرار در دقیقه (BPM)<sup>۲</sup> انجام شد. برای تسهیل حرکت، دو توپ کوچک با رنگ‌های متفاوت قرمز (در دست راست) و زرد (در دست چپ) مدل ویدئویی<sup>۳</sup> (VM) قرار داشت و به شکل معکوس در دست‌های شرکت‌کننده قرار گرفت. در شرایط آزمایشی، فیلم از پیش آماده شده VM که تکلیف دودستی را در زاویه‌ای که هنگام مشاهده شرکت‌کننده، رو به او باشد، در یک صفحه نمایش ۳۰ اینچی، برای شرکت‌کننده پخش شد. تکلیف با ۳۰ ثانیه از تصویر ثابت از VM روی صفحه نمایش شروع و ۵ ثانیه قبل از شروع نمایش ویدئو، شمارش معکوس روی صفحه نمایش نشان داده شد. با شروع فیلم که توسط یک محرک شنیداری همراه بود، اجرای ۳۰ ثانیه‌ای مدل نمایش داده شد و از شرکت‌کننده خواسته شد تا با شروع فیلم، هماهنگ با VM تکلیف را اجرا کند.

#### روند اجرای پژوهش

ابتدا کد اخلاق توسط کمیته اخلاق در پژوهش‌های زیست پزشکی دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه تهران و مجوزهای لازم از اداره آموزش و پرورش شهر تهران جهت شروع کار اخذ شد. فرم رضایت‌نامه کتبی بین والدین در مدرسه توزیع شد. سپس پرسش‌نامه «اختلال هماهنگی رشدی برای والدین» در اختیار والدین قرار گرفت و «پرسش‌نامه مشاهده رفتار حرکتی برای آموزگاران» نیز توسط معلمین مدرسه تکمیل شد. براساس اطلاعات به دست آمده از این دو پرسش‌نامه کودکان برای انجام «مجموعه آزمون سنجش حرکت کودکان» انتخاب شدند. کودکانی که در مقیاس ارزیابی حرکتی برای کودکان در خرده آزمون چالاک‌دی دستی امتیاز آن‌ها زیر نقطه ۱۵ درصدی بود گزینش شدند. در این مرحله بررسی شد که کودکان اختلال دیگری از جمله اختلال یادگیری، روانی و عصبی شناختی

آگاهانه از شرکت در پژوهش را تکمیل نمودند. با توجه به تک‌جلسه‌ای بودن طرح تحقیق، در صورتی که داده‌های شرکت‌کننده برای تحلیل قابل استفاده نبود و یا شرکت‌کننده رضایت خود را برای شرکت در تحقیق به هر دلیلی ابراز می‌داشت، از تحقیق کنار گذاشته می‌شد.

#### ابزار

مقیاس همدلی هیجانی متعادل (BEES)

برای ارزیابی میزان همدلی افراد از مقیاس همدلی هیجانی متعادل (BEES)<sup>۱</sup> مهربان و اپستین (۱۹۷۲) استفاده شد. این مقیاس دارای ۳۳ پرسش است که ۱ پرسش آن بصورت مثبت و ۱۶ پرسش دیگر به صورت معکوس طرح شده‌اند. پرسش‌ها به صورت ۵ گزینه‌ای با مقیاس لیکرت از کاملاً موافقم، نظری ندارم، مخالفم و کاملاً مخالفم می‌باشد که به ترتیب امتیازهای ۵ تا ۱ را کسب می‌کنند. این پرسشنامه شامل ۶ خرده مقیاس همدلی واکنشی، بیانی، مشارکتی، اثرپذیری عاطفی، ثبات عاطفی و همدلی نسبت به دیگران است. نمره هر خرده مقیاس از میانگین امتیاز سوالات مربوط به آن خرده مقیاس کسب می‌شود و نمره کل پرسشنامه، مجموع نمرات ۶ مقیاس در نظر گرفته می‌شود. در پژوهشی با استفاده از این مقیاس به وسیله‌ی مهربان و اپستین (۱۹۷۲)، روی ۲۰۲ مرد و زن انجام گرفت، ضریب پایایی مقیاس ۰/۸۴ گزارش شد (مهربان و اپستین، ۱۹۷۲). اعتبار و پایایی این مقیاس در ایران در پژوهش زرشقایی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از روش آزمون-بازآزمون تأیید شده است (زرشقایی و همکاران، ۲۰۰۹).

ثبت الکتروانسفالوگرافی (EEG)

در این مطالعه از دستگاه g.USBamp تقویت‌کننده‌ی ۱۶ کاناله بیوسیگنال ساخت شرکت g.tec استفاده شد. ۱۶ الکتروود فعال طبق سیستم ۲۰-۱۰ روی کانال‌های  $F_3, F_5, F_z, F_4, F_6, FC_1, F_3, F_5, F_z, F_4, F_6, FC_1, FC_2, FC_z, C_3, CZ, C_4, P_3, P_z, P_4, O_1, O_2$

3. Video model

1. Balanced emotional empathy scale (BEES)  
2. Beat per minute

پلاگین‌های JCLabel، MARA و ADJUST انجام شد. سپس مجدد سیگنال برای حذف نویزها به صورت دیداری مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله پردازش، داده‌ها به رفرنس میانگین رفرنس‌دهی شدند. سیگنال‌ها به پنجره‌های ۸۰۰ میلی ثانیه‌ای تقسیم شدند و توان مطلق در ریتم مو (۸-۱۲ هرتز)، LB (۲۰-۱۳ هرتز) و HB (۳۰-۲۱ هرتز) در سه منطقه C3، C2 و C4 با استفاده از دستور pwelch نرم افزار متلب محاسبه شد. میزان سرکوب امواج با استفاده از لگاریتم نسبت میانگین توان مطلق باند فرکانسی در ۳۰ ثانیه اجرا به خط پایه- یک ثانیه قبل شروع فیلم- محاسبه شد.

### روش پردازش داده‌های کینماتیک

برای استخراج شاخص کینماتیک زاویه آرنج، از نرم افزار کینوا نسخه ۸،۲۷ استفاده شد. فیلم‌های ثبت شده حین اجرای شرکت‌کنندگان در نرم افزار کینوا اجرا و ردیابی حرکت دست راست و چپ شرکت‌کننده طی دومین اجرای ۳۰ ثانیه از تکلیف انجام شد. شروع تحلیل حرکت شرکت‌کننده، همواره با شروع حرکت VM در نظر گرفته شد. الگوی حرکت VM نیز در هر دو دست راست و چپ به شکل مشابه توسط نرم افزار کینوا استخراج شد. سپس زوایای بدست آمده از ۹۰۰ فریم حرکت (۳۰ ثانیه اجرا با ثبت دوربین با سرعت ۳۰ هرتز بر ثانیه)، با استفاده از روش همبستگی متقابل<sup>۲</sup> (CC) تحلیل شد (حرکت به صورت آینده‌ای انجام می‌شد، بنابراین دست راست شرکت‌کننده نسبت به دست چپ مدل و برعکس، مورد تحلیل قرار گرفت). حداکثر همبستگی بین حرکت شرکت‌کننده و VM (Max-R) و میزان تأخیر به واحد فریم بر ثانیه (Lag f/s) در حرکت شرکت‌کننده نسبت به VM برای هر دو دست راست و چپ به دست آمد.

### روش‌های پردازش داده‌ها

در بخش توصیفی، شاخص‌های میانگین و انحراف استاندارد و در آمار استنباطی از آزمون شاپیروویک برای بررسی توزیع طبیعی داده‌ها استفاده شد. پس از استخراج شاخص‌های حرکتی Max-R و Lag برای هر شرکت‌کننده در هر دو دست راست و چپ نسب به حرکت

نداشته باشند. در مرحله بعد آزمون دست برتری ادینبورگ انجام شد و کودکان راست دست انتخاب شدند. سپس آزمون هوش ریون انجام شد و کودکان با امتیاز بالای ۷۳ گزینش شدند. پرسش‌نامه تصویرسازی حرکتی کودکان در این مرحله بین کودکان توزیع شد. در مرحله پیش آزمون تمامی آزمودنی‌ها تکلیف پیگردی چرخان را انجام دادند. مدت زمان آزمون برای هر آزمودنی بین ۱۵-۱۰ دقیقه به طول انجامید. آزمون شامل یک بلوک سه تایی جهت آشنایی و یک بلوک ۱۰ تایی جهت آزمون اصلی بود.

پس از پیش‌آزمون آزمودنی‌ها بر اساس نمراتی که در تصویرسازی حرکتی به دست آورده بودند به طور تصادفی در ۳ گروه (تمرین تصویرسازی ذهنی، تمرین بدنی (حرکات ظریف) و گروه کنترل) قرار گرفتند. گروه‌های تمرین بدنی و تصویرسازی ذهنی به مدت ۱۸ جلسه (۳ جلسه در هفته و هر جلسه ۱۷-۲۰ دقیقه) به انجام تمرینات پرداختند. گروه کنترل در این مدت در هیچ یک از تمرینات شرکت نکرد. تمرینات گروه تمرین بدنی شامل تمرین حرکات ظریف بود که به مدت ۲۰-۱۷ دقیقه در هر جلسه انجام می‌شد. گروه تصویرسازی ذهنی نیز تمرینات خود را که شامل ۱۵ تمرین تکلیف پیگردی مشابه تکلیف اصلی با استراحت بین کوشش‌ها بود؛ با استفاده از یک فایل صوتی ضبط شده انجام می‌دادند. پیش از انجام تکلیف تصویرسازی یک مرحله آماده سازی برای شروع تمرین انجام می‌شد. تمرینات در جهت رشد و تقویت مهارت‌های ظریف نظیر هماهنگی چشم و دست، هماهنگی دو دست، سرعت و دقت و تقویت حرکات چشم‌ها انجام شد که شامل بند کردن و تابانیدن نخ، رسم خطوط مختلف، کار با قیچی و گلیم بافی بود. روند انجام تمرین حرکات ظریف در جدول ۱ شرح داده شده است. پس از اتمام پروتکل تمرینی هر گروه مجدداً به منظور ارزیابی مورد پس‌آزمون قرار گرفتند که روند ارزیابی دقیقاً همانند پیش‌آزمون صورت گرفت.

### روش پردازش داده‌های EEG

در مرحله پیش پردازش، ابتدا سیگنال‌ها بین دامنه ۱ تا ۴۰ هرتز با استفاده از نرم افزار EEGLAB و دستور pop\_eegfiltnew و فیلتر شد. یک ثانیه قبل از شروع فیلم الگو، به عنوان خط پایه<sup>۱</sup> در نظر گرفته شد. حذف آرتیفکت‌ها با استفاده از ICA و هم‌چنین

3 . Cross-Correlation

1. Baseline  
2 . Kinovea

## ارتباط همدلی با فعالیت نوروهای آینه‌ای در تکلیف...

۳۲

C3، Cz و C4 و سه باند فرکانسی استفاده شد. برای تحلیل آماری از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۱ و SPSS نسخه ۲۴ در سطح معنی‌داری  $P < 0.05$  استفاده شد.

### یافته‌ها

جدول ۱ و ۲ میانگین و انحراف استاندارد نمرات همدلی و لگاریتم نسبت توان باندهای فرکانسی در شرایط آزمایشی نسبت به خط پایه را نشان می‌دهد.

VM، ابتدا از آزمون همبستگی پیرسون (در شاخص Max-R) و آزمون همبستگی اسپیرمن (در شاخص Lag) برای بررسی ارتباط بین شاخص‌های رفتاری با شاخص‌های همدلی و همچنین فعالیت MNS استفاده شد. همچنین، ارتباط بین فعالیت MNS با شاخص‌های همدلی توسط آزمون پیرسون تحلیل شد. در گام بعد، برای کنترل اثر رفتار در همبستگی بین MNS و همدلی، از روش همبستگی جزئی<sup>۱</sup> با ورود شاخص‌های رفتاری به عنوان عامل کنترل، برای بررسی مجدد همبستگی بین شاخص‌های همدلی با MNS در سه منطقه

جدول ۱: آمار توصیفی همدلی

شاخص همدلی							
نمره کل	همدلی واکنشی	همدلی بیانی	همدلی مشارکتی	اثرپذیری عاطفی	ثبات عاطفی	همدلی به دیگران	
Total score	Reactive empathy	expressive empathy	Collaborative empathy	Emotional effectiveness	Emotional stability	Empathy for others	M ± Sd
103.93 ± 7.69	21.25 ± 2.62	16.5 ± 2.22	20.68 ± 2.24	19.25 ± 2.48	12.93 ± 1.87	13.31 ± 1.95	

جدول ۲: آمار توصیفی فعالیت MNS

باند فرکانسی									
HB			LB			Mu			
C4	Cz	C3	C4	Cz	C3	C4	Cz	C3	M ± Sd
-0.02 ± 0.22	-0.033 ± 0.25	-0.032 ± 0.26	-0.033 ± 0.25	-0.04 ± 0.28	-0.11 ± 0.22	0.37 ± 0.25	0.12 ± 0.4	-0.15 ± 0.4	

کننده نسبت به VM نشان می‌دهد. به طور میانگین، شرکت-کنندگان نسبت به مدل، با تأخیر زمانی در دست راست (۴/۳۷ فریم بر ثانیه) و چپ (۲/۶ فریم بر ثانیه) نسبت به VM حرکت کردند (شکل ۱).

نتایج آزمون شاپیروویلیک نشان داد داده‌ها (مقیاس همدلی و شاخص فعالیت MNS و متغیر Max-R) از توزیع طبیعی برخوردار بوده‌اند ( $P > 0.05$ ). جدول ۳، نتایج همبستگی متقابل را برای هر شرکت-

1 . Partial Correlation

جدول ۳: نتایج آزمون همبستگی متقابل بین هر شرکت کننده با VM

Left Lag f/s (فریم بر ثانیه)	Left Max-R	Right Lag f/s (فریم بر ثانیه)	Right Max-R	شرکت کننده Subjects NO.
-9.00	.87	1.00	.86	۱
2.00	.94	5.00	.93	۲
2.00	.63	7.00	.65	۳
3.00	.94	-4.00	.96	۴
14.00	.91	2.00	.95	۵
4.00	.94	5.00	.92	۶
6.00	.89	8.00	.84	۷
.00	.87	2.00	.88	۸
-2.00	.74	11.00	.77	۹
30.00	.59	30.00	.53	۱۰
-3.00	.96	1.00	.95	۱۱
2.00	.94	4.00	.96	۱۲
-2.00	.96	-2.00	.98	۱۳
-5.00	.86	-1.00	.86	۱۴
2.00	.89	.00	.85	۱۵
-2.00	.88	1.00	.90	۱۶
۲۶	۸۶۳	۴,۳۷	۸۶۱	میانگین کل

نکته: Lag مثبت به معنای تأخیر شرکت کننده نسبت به مدل و Lag منفی به معنای حرکت سریعتر شرکت کننده نسبت به مدل است.  
Max-R = حداکثر ضریب همبستگی در تحلیل CC است.

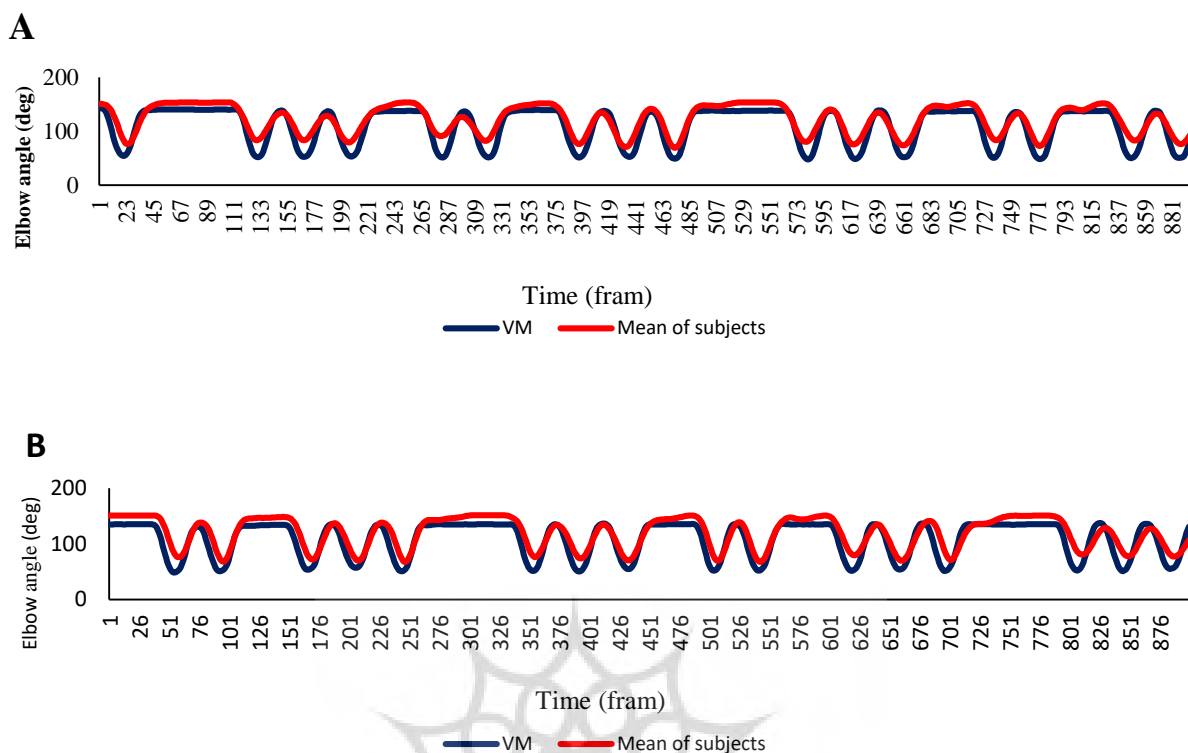
Left و Right به معنای بررسی حرکت دست راست و چپ شرکت کننده نسبت به حرکت دست مدل است.

Note: A positive Lag means that the participant is late, and a negative Lag means that the participant is faster than the VM.

Max-R= Maximum correlation coefficient in CC analysis

Right = Participant's right hand

Left = participant's left hand



شکل ۱: میانگین زاویه دست راست (A) و دست چپ (B) شرکت کنندگان نسبت به VM

نتایج آزمون‌های همبستگی ارتباط معنی‌داری را بین شاخص‌های کینماتیکی ( شاخص‌های حداکثر همبستگی و Lag در تحلیل CC ( با مقیاس‌های همدلی نشان نداد (جدول ۴). همچنین همبستگی میانگین توان ریتم HB در ناحیه C3 با Lag دست چپ ارتباط مستقیم دارد (  $r=0.54$  ,  $P= 0.02$  ) (شکل ۲-۳) بین فعالیت MN و شاخص‌های کینماتیکی (جدول ۳) نشان داد

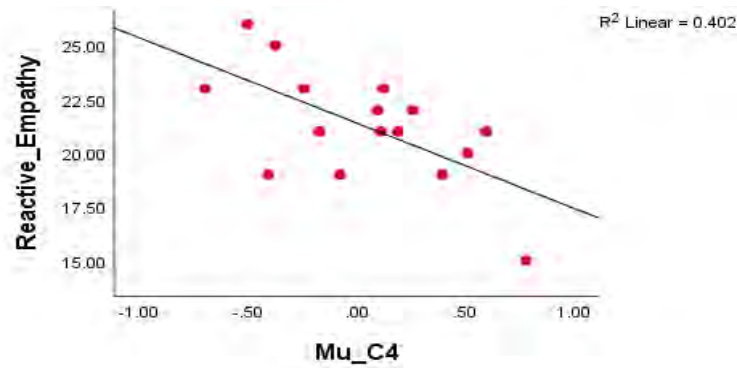
جدول ۴: نتایج همبستگی بین شاخص‌های کینماتیکی با همدلی

Left Lag f/s		Left Max-R		Right Lag f/s		Right Max-R		شاخص کینماتیکی شاخص همدلی
r	sig	r	sig	r	sig	r	sig	
-0.22	0.4	-0.14	0.6	-0.41	0.1	-0.035	0.89	همدلی به دیگران
-0.063	0.81	-0.14	0.6	-0.136	0.6	-0.172	0.52	ثبات عاطفی
-0.054	0.84	-0.07	0.7	-0.123	0.65	-0.061	0.82	اثرپذیری عاطفی
-0.19	0.46	-0.196	0.46	0.12	0.96	-0.58	0.58	همدلی مشارکتی
0.31	0.24	-0.22	0.41	0.19	0.47	-0.18	0.483	همدلی بیانی
-0.09	0.73	-0.08	0.74	-0.23	0.37	-0.095	0.72	همدلی واکنشی
-0.19	0.46	-0.24	0.35	-0.16	0.54	-0.2	0.45	نمره کل

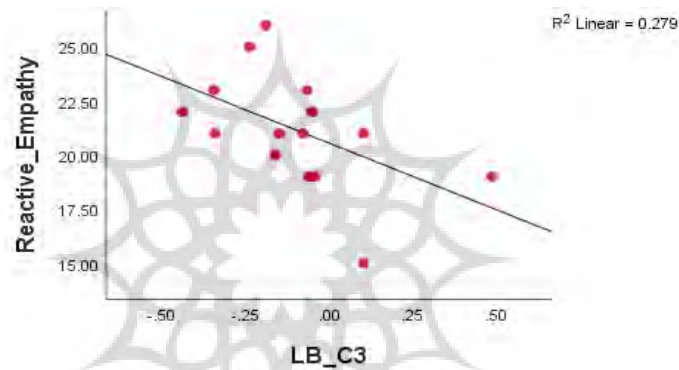
Note: r = Correlation coefficient



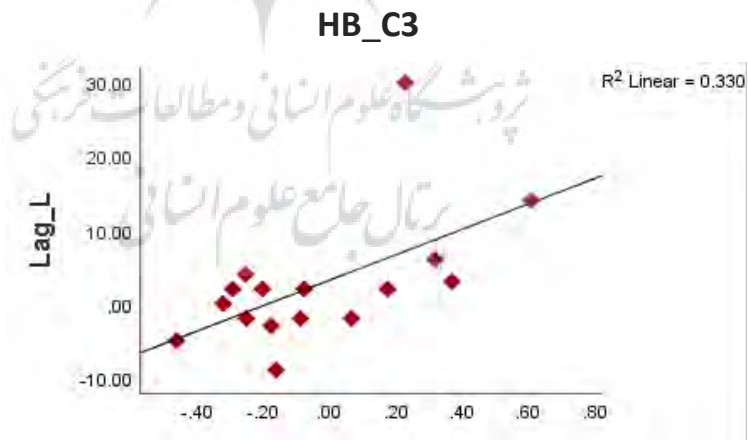
a)



b)



c)



شکل ۲: همبستگی ریتم Mu-C4 با همدلی واکنشی (a); همبستگی ریتم LB\_C3 با همدلی واکنشی (b); همبستگی ریتم HB-C3 با Lag-left (c)

### بحث و نتیجه‌گیری

هدف از مطالعه حاضر، بررسی ارتباط بین همدلی و فعالیت MNS در یک تکلیف حرکتی هماهنگ لیدر-پیرو بود. بر این اساس، ۱۶ دانشجوی دختر راست دست یک تکلیف دو دستی را به صورت هماهنگ با یک الگوی ویدئویی اجرا کردند. میانگین سرکوب ریتم مو، LB و HB به عنوان شاخص فعالیت MNS در مناطق C3، Cz و C4 هنگام اجرای تکلیف در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد نمرات همدلی واکنشی ارتباط مستقیمی با فعالیت MNS در نیمکره راست (در ریتم مو) و نیمکره چپ (در ریتم LB) دارد. حائز اهمیت است که این ارتباط با کنترل داده‌های رفتاری و کینماتیکی نیز برقرار بود. با این وجود علی‌رغم ارتباط مستقیم توان HB در منطقه C3 با میزان Lag دست چپ، نشان داده شد که ارتباط اولیه HB با همدلی واکنشی به واسطه وجود حرکت مشاهده شده بود و با کنترل عامل رفتار، این ارتباط عصب-روانشناختی حذف گردید.

پيامدهای همدلی در جامعه و در تعاملات فردی به طور بالقوه بسیار گسترده و فوق‌العاده تأثیرگذار است. تقلید فیزیکی، از طریق آنچه می‌توانیم فرض کنیم که هم سیستم نورون حرکتی و هم سیستم MN با هم کار می‌کنند، می‌تواند به شدت همدلی را افزایش دهد. در راستای این رویکرد، بدن را می‌توان به عنوان رابط بین ذهن و محیط آن از جمله محیط اجتماعی (به عنوان مثال، دیگران) در نظر گرفت. به عبارت دیگر می‌توان ذهن و شناخت را پدیده‌ای پیچیده در نظر گرفت که از تعامل بدن و محیط به وجود می‌آید (ریچاردسون و همکاران، ۲۰۱۴)، چرا که فرآیندهای شناختی (ادراک، حافظه، تفکر، عاطفه) با کنش و رفتار حرکتی در تعامل است (کوداما و همکاران، ۲۰۰۸). به طور کل نتایج این مطالعه از ارتباط MNS با همدلی حمایت کرد. از نگاه فرضیه‌های موجود در ارتباط با برتری نیمکره‌ای ویژگی‌های روان‌شناختی اجتماعی، به نظر می‌رسد یافته‌های حاضر با هر دو دیدگاه ظرفیت و برتری نیمکره راست که در

فرآیندهای تعاملات اجتماعی مانند همدلی، شناخت و احساسات توضیح می‌دهند، با نتایج تفکیک باند فرکانسی قابل بحث است. در خصوص ریتم LB نتایج مطالعه حاضر به شکلی موافق با یافته‌هایی است که نشان داد فعال شدن مناطق مرکزی-آهیانه روی نیمکره چپ به عنوان پاسخی به تصاویر دست‌ها برجسته تر از نیمکره راست است (فان و هان، ۲۰۰۸). هم چنین با نتایجی که نشان داد فعالیت ریتم‌های فرکانس بالا مانند بتا در هر سه منطقه قدامی، آهیانه‌ای و مرکزی با احساسات مثبت و منفی ارتباط دارد (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۴) همخوان است. علاوه بر این، نتایج در ریتم LB در منطقه C3 موافق با دیدگاه ظرفیت در فعال‌سازی بیشتر نیمکره چپ در احساسات مثبت (همدلی به عنوان یک احساس مثبت) است. اما در خصوص ریتم مو، نتایج مطالعه حاضر در ارتباط مستقیم همدلی واکنشی با سرکوب ریتم مو در نیمکره راست (C4)، به طور کل با دیدگاه برتری جانبی نیمکره راست در مفاهیمی مانند احساسات، همدلی، درک و شناخت اجتماعی همخوان است. به علاوه ممکن است همانطور که فعالیت باند آلفا در قشر پیشانی به عنوان پیش‌بینی کننده همدلی بیان شده است (کوچ و علمیردانی، ۲۰۲۰)، برای قشر حرکتی نیز صادق باشد. باقی ماندن ارتباط معنی‌دار سرکوب ریتم مو با همدلی واکنشی پس از کنترل داده‌های رفتاری، این موضوع را در مطالعه حاضر مورد تأیید قرار داد. نوسانات موج آلفا، با یکپارچگی معادله خود-دیگری مرتبط است؛ به طوری که سرکوب موج آلفا با یکپارچگی بیشتر خود-دیگری در مناطق مرکزی آهیانه‌ای همراه است. در مقابل، افزایش نوسانات آلفا فرد را تشویق به استفاده از دانش درونی و در نتیجه جداسازی خود از دیگری می‌کند. بنابراین نوسانات آلفا پردازش اطلاعات در مورد خود و دیگران را بسته به سازگاری دانش داخلی و رویدادهای خارجی (محیطی) نشان می‌دهد (نوامبر و همکاران، ۲۰۱۶). هم‌چنین، در توضیح ساز و کار همدلی، تحقیق با استفاده از تصویربرداری

از شروع مطالعه شناخت قبلی نسبت به فرد VM نداشتند. هم-چنین به نظر می‌رسد همدلی مشارکتی در تکالیفی که ماهیت هماهنگی بین فردی به گونه‌ای تعریف می‌شود که افراد درگیر در تعامل، تکالیف مجزایی برای رسیدن به یک هدف مشترک انجام می‌دهند و این جنبه از هماهنگی، در تکلیف حاضر وجود نداشت. هم‌چنین نبود ارتباط کلامی بین شرکت‌کننده و VM، از دلایلی است که همدلی بیانی را در تکلیف حاضر درگیر نکرد.

از رویکرد عصبی-رفتاری، به نظر می‌رسد نتایج تحقیق حاضر متأثر از نقش شرکت‌کنندگان در تکلیف هماهنگ لیدر-پیرو باشد که شرکت‌کنندگان در نقش پیرو عمل می‌کردند. یافته‌ها در یک طرح لیدر-پیرو تکلیف موسیقی نشان می‌دهد وقتی افراد در موقعیت پیرو قرار می‌گیرند، افرادی که همدلی بیشتری دارند، اختلاف زمانی خود را از لیدر کمتر کردند؛ در صورتی که افراد لیدر صرف نظر از میزان همدلی، ثبات بیشتری را در تکلیف از خود نشان دادند (نوامبر و همکاران، ۲۰۱۹). از یک سو، نتایج تحقیق حاضر مغایر با شواهدی است که نشان می‌دهد همدلی با رفتارهای هماهنگ بین فردی ارتباط مستقیم دارد، چرا که بین شاخص‌های رفتاری با شاخص‌های همدلی ارتباط معنی‌داری در مطالعه حاضر مشاهده نشد. از سوی دیگر، ارتباط مستقیم مشاهده شده بین توان HB با Lag دست چپ در ناحیه C3 مؤید آن است که تأخیر در اجرای حرکت نسبت به VM، با افزایش توان باند HB ارتباط مستقیم دارد. این نتیجه ممکن است به دلیل بازداری عمل در تعامل با الگو ایجاد شده باشد؛ چرا که بازداری بیشتر در افزایش توان ریتم بتا منعکس می‌شود (اندیک و همکاران، ۲۰۱۹). هم‌چنین این بازداری برای جلوگیری از هزینه حرکت داوطلبانه، مطابق با نظریه وضعیت موجود با افزایش توان ریتم بتا همراه است. در توضیح فرضیه وضع موجود چنین مطرح می‌شود که افزایش ریتم بتا برای حفظ

عصبی و تکنیک‌های تحریک مغز نشان داده است که افراد همدل‌تر دارای یک مکانیسم تقویت‌شده «شبیه‌سازی حرکتی»<sup>۱</sup> هستند، که می‌تواند اعمال دیگران را از نظر منابع عصبی لازم برای اجرای همان عمل نشان دهد (نوامبر و همکاران، ۲۰۱۲). از سوی دیگر، اقدامات پیش‌بینی شده، منجر به مزایای رفتاری می‌شود که ممکن است به طور کلی بر شناخت اجتماعی تأثیر بگذارد (نوامبر و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، از آنجا که ریتم مو در ترجمه داده‌های حسی برای پردازش‌های حرکتی و پیش‌بینی عمل، و ریتم بتا به طور ویژه در پیش‌بینی لحظه‌ای و بازنمایی خطاها نقش دارند، به نظر می‌رسد مکانیزم حسی-حرکتی که مسئول شبیه‌سازی عمل دیگران و در نهایت تقویت ویژگی پیش‌بینی‌کننده و مؤثر در بهبود شناخت اجتماعی است، بیشتر با فعالیت باند مو و LB به عنوان یکی از شاخص‌های فعالیت MNS مرتبط باشد. چرا که فارغ از نتیجه عمل در تکلیف هماهنگ (کنترل داده‌های رفتاری در پژوهش حاضر) ارتباط همدلی واکنشی با شاخص‌های MNS در این باندها باقی ماند. در صورتی که در باند HB، ارتباط همدلی با MNS وابسته به نتیجه تکلیف است.

هم‌چنین، ارتباط مقیاس همدلی واکنشی با فعالیت MNS در تکلیف لیدر-پیرو دودستی، نشان از تأثیر نوع تعامل بین فردی با نوع همدلی دارد؛ چرا که نیازهای تکلیف حاضر همراستا با همدلی واکنشی بود. تکلیف دو دستی در پژوهش حاضر ابعاد همدلی کلامی و یا عواطف را دستکاری نمی‌کرد و شرکت‌کننده تنها ملزم به واکنش هم‌زمان، هماهنگ و آینه‌ای نسبت به حرکت الگو بود. نبود آشنایی قبلی شرکت‌کنندگان با فرد الگو نیز می‌تواند از جمله دلایلی باشد که ابعاد دیگر همدلی را تحت تأثیر قرار نداد. هیچ‌کدام از شرکت‌کنندگان تحقیق حاضر پیش

3. Error representation

1. Motor simulation  
2. Prediction updating

مشاهده حالات چهره به طور کامل به دلیل استفاده از ماسک در شرایط اپیدمی کرونا ممکن است ارتباط بین فردی شرکت-کنندگان را در تحت تأثیر قرار داده باشد. همچنین از آنجا که شرکت‌کنندگان تحقیق ورزشکار نبودند، ممکن است ارتباط همدلی با شاخص‌های حرکتی هماهنگی بین فردی را تحت تأثیر قرار داده باشد. لذا، انجام پژوهش‌های مشابه در ورزشکاران به ویژه رشته‌های تیمی، می‌تواند دیدگاه بهتری را در خصوص این موضوع برآورد نماید. نتایج این پژوهش می‌تواند احتمال مداخلات عصبی مانند نوروفیدبک را با سرکوب یا افزایش توان باند فرکانسی ویژه، در تقویت و افزایش ویژگی‌های روان شناختی مانند همدلی به خصوص در ورزشکاران رشته‌های تیمی مورد توجه قرار دهد.

### ملاحظات اخلاقی

#### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

تمامی شرکت‌کنندگان فرم رضایت در تحقیق را تکمیل نمودند. کد اخلاق این پژوهش از پژوهشگاه تربیت‌بدنی به شماره (IR.SSRI.REC.1400.1123) کسب شد.

#### تعارض منافع

طبق اعلام نویسندگان، تعارض منافع وجود ندارد.

#### تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان از مرکز ملی نقشه‌برداری مغز برای فراهم‌سازی امکان جمع‌آوری و تحلیل داده‌های EEG و هم-چنین از تمام شرکت‌کنندگان حاضر در پژوهش تشکر و قدردانی می‌کنند.

حرکت در حین پردازش اطلاعات ورودی عمل می‌کند (بارون و روسیتر، ۲۰۱۹). بنابراین صرفاً نماینده قشر حسی- حرکتی نیست؛ بلکه نقش مهمی را بالا به پایین در فعالیت‌های حرکتی و شناختی دارد (پالاسیوس-گارسیا و همکاران، ۲۰۲۱).

به طور کل، نتایج این پژوهش ارتباط همدلی به ویژه همدلی واکنشی را با فعالیت MNS در تکلیف هماهنگی حرکتی بین فردی از نوع لیدر- پیرو تایید کرد. در عین حال با اینکه ارتباط توان ریتم HB با شاخص رفتاری Lag ارتباط مستقیم نشان داد، اما همبستگی بین همدلی و شاخص‌های رفتاری مشاهده نشد. ملاحظات در خصوص نوع تکلیف، نقش و باندهای فرکانسی در بررسی مکانیزم‌های عصبی همدلی در تحقیقات آینده مورد توجه خواهد بود. ریزولاتی استدلال می‌کند که MNS حرکتی تنها یکی از انواع نورون‌هایی هستند که دارای خاصیت آینه‌سازی می‌باشند. اگر ما درک خود را از مکانیزم‌های آینه‌ای گسترش دهیم تا سیستم‌هایی را که با آینه‌سازی در انسان‌ها مرتبط بوده‌اند را در بر بگیرد، در این صورت پیامدهای یکپارچگی خود-دیگر قابلیت تفسیر و توسعه بیشتری خواهد داشت. MNS تنها مکانیزم نیستند، و حتی ممکن است مکانیزم غالب نباشند، اما واقعیت این است که سیستم MNS نمی‌تواند همه جوانب درک و همدلی را توضیح دهند. ارتباط با دیگران، سیستم عصبی آینه‌ای، مهارت‌های شناختی تغییر دیدگاه و همچنین تلاش مکرر برای درک دیگران را تمرین می‌دهد (استوارد، ۲۰۱۷). چرا که تعاملات اجتماعی به ظرفیت مغز برای ادغام کنش‌های (درونی) خود تولید شده با خروجی حرکتی (خارجی) افراد دیگر و در عین حال حفظ تمایز بین خود و دیگری به منظور دستیابی به کنترل مستقل بر اعمال بستگی دارد. بنابراین، ارتباط ابعاد روانی و عصبی در اعمال هماهنگ، نیازمند در نظر گرفتن ملاحظات رفتاری تکلیف می‌باشد. از محدودیت‌های تحقیق حاضر می‌توان به ویژگی‌های فردی شرکت-کنندگان نام برد؛ هم جنس بودن افراد درگیر در تعامل، عدم

## References

1. Balconi, M., Grippa, E., & Vanutelli, M. E. (2015). Resting lateralized activity predicts the cortical response and appraisal of emotions: an fNIRS study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10(12), 1607–1614. <https://doi.org/10.1093/scan/nsv041>
2. Barone, J., & Rossiter, H. E. (2021). Understanding the Role of Sensorimotor Beta Oscillations. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 15(May), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2021.655886>
3. Brunsdon, V. E. A., Bradford, E. E. F., Smith, L., & Ferguson, H. J. (2020). Short-term physical training enhances mirror system activation to action observation. *Social Neuroscience*, 15(1), 98–107. <https://doi.org/10.1080/17470919.2019.1660708>
4. Cornejo, C., Cuadros, Z., Morales, R., & Paredes, J. (2017). Interpersonal coordination: Methods, achievements, and challenges. *Frontiers in Psychology*, 8(SEP), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01685>
5. Corradini, A., & Antonietti, A. (2013). Mirror neurons and their function in cognitively understood empathy. *Consciousness and Cognition*, 22(3), 1152–1161. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.03.003>
6. de Waal, F. B. M., & Preston, S. D. (2017). Mammalian empathy: behavioural manifestations and neural basis. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(8), 498–509. <https://doi.org/10.1038/nrn.2017.72>
7. Endedijk, H. M., Meyer, M., Bekkering, H., Cillessen, A. H. N., & Hunnius, S. (2017). Neural mirroring and social interaction: Motor system involvement during action observation relates to early peer cooperation. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 24, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.01.001>
8. Fan, Y., & Han, S. (2008). Temporal dynamic of neural mechanisms involved in empathy for pain: An event-related brain potential study. *Neuropsychologia*, 46(1), 160–173. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.07.023>
9. Festante, F., Vanderwert, R. E., Sclafani, V., Paukner, A., Simpson, E. A., Suomi, S. J., Fox, N. A., & Ferrari, P. F. (2018). EEG beta desynchronization during hand goal-directed action observation in newborn monkeys and its relation to the emergence of hand motor skills. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 30(March), 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2018.02.010>
10. Gainotti, G. (2019). A historical review of investigations on laterality of emotions in the human brain. *Journal of the History of the Neurosciences*, 28(1), 23–41. <https://doi.org/10.1080/0964704X.2018.1524683>
11. Ge, S., Wang, P., Liu, H., Lin, P., Gao, J., Wang, R., Iramina, K., Zhang, Q., & Zheng, W. (2019). Neural Activity and Decoding of Action Observation Using Combined EEG and fNIRS Measurement. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13(October), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00357>
12. Huang, C.-W., Wu, B. C. Y., Nguyen, P. A., Wang, H.-H., Kao, C.-C., Lee, P.-C., Rahmanti, A. R., Hsu, J. C., Yang, H.-C., & Li, Y.-C. J. (2023). Emotion recognition in doctor-patient interactions from real-world clinical video database: Initial development of artificial empathy. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 233, 107480. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107480>
13. Keller, P. E., Novembre, G., & Hove, M. J. (2014). Rhythm in joint action: Psychological and neurophysiological mechanisms for real-time interpersonal coordination. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1658). <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0394>
14. Kodama, K., Hori, K., Tanaka, S., & Matsui,

- H. (2018). How Interpersonal Coordination Can Reflect Psychological Counseling: An Exploratory Study. *Psychology*, 09(05), 1128–1142.  
<https://doi.org/10.4236/psych.2018.95070>
15. Kuijt, A., & Alimardani, M. (2020). Prediction of Human Empathy based on EEG Cortical Asymmetry. *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Human-Machine Systems, ICHMS 2020*.  
<https://doi.org/10.1109/ICHMS49158.2020.9209561>
  16. Levy, J., Goldstein, A., Pratt, M., & Feldman, R. (2018). Maturation of pain empathy from child to adult shifts from single to multiple neural rhythms to support interoceptive representations. *Scientific Reports*, 8(1), 1–9.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-19810-3>
  17. Mara, D. (2017). The function of mirror neurons in the learning process. *MATEC Web of Conferences*, 121, 1–7.  
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201712112012>
  18. Maximiano-Barreto, M. A., de Lima Bomfim, A. J., Borges, M. M., de Moura, A. B., Luchesi, B. M., & Chagas, M. H. N. (2022). Recognition of Facial Expressions of Emotion and Depressive Symptoms among Caregivers with Different Levels of Empathy. *Clinical Gerontologist*, 45(5), 1245–1252.  
<https://doi.org/10.1080/07317115.2021.1937426>
  19. Mehrabian, A., & Epstein, N. (1972). A measure of emotional empathy. *Journal of Personality*, 40(4), 525–543.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.1972.tb00078.x>
  20. Mu, Y., Cerritos, C., & Khan, F. (2018). Neural mechanisms underlying interpersonal coordination: A review of hyperscanning research. *Social and Personality Psychology Compass*, 12(11).  
<https://doi.org/10.1111/spc3.12421>
  21. Novembre, G., Mitsopoulos, Z., & Keller, P. E. (2019). Empathic perspective taking promotes interpersonal coordination through music. *Scientific Reports*, 9(1), 1–12.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-48556-9>
  22. Novembre, G., Ticini, L. F., Schütz-Bosbach, S., & Keller, P. E. (2012). Distinguishing self and other in joint action. Evidence from a musical paradigm. *Cerebral Cortex (New York, N : )*, 22(12), 2894–2903.  
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhr364>
  23. Palacios-García, I., Silva, J., Villena-González, M., Campos-Arteaga, G., Artigas-Vergara, C., Luarte, N., Rodríguez, E., & Bosman, C. A. (2021). Increase in Beta Power Reflects Attentional Top-Down Modulation After Psychosocial Stress Induction. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15(March), 1–14.  
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.630813>
  24. Pfeifer, J. H., Iacoboni, M., Mazziotta, J. C., & Dapretto, M. (2008). Mirroring others' emotions relates to empathy and interpersonal competence in children. *NeuroImage*, 39(4), 2076–2085.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.10.032>
  25. Richardson, M. J., Dale, R., & Marsh, K. L. (2014). Complex Dynamical Systems in Social and Personality Psychology: Theory, Modeling, and Analysis. In H. T. Reis & C. M. E. Judd (Eds.), *Handbook of Research Methods in Social and Personality Psychology* (2nd ed., pp. 253–282). Cambridge University Press.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511996481.015>
  26. Riečanský, I., Paul, N., Kölbl, S., Stieger, S., & Lamm, C. (2015). Beta oscillations reveal ethnicity ingroup bias in sensorimotor resonance to pain of others. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10(7), 893–901.  
<https://doi.org/10.1093/scan/nsu139>
  27. Rizzolatti, G., Fabbri-Destro, M., & Gerbella, M. (2016). The mirror neuron mechanism. In *The Curated Reference Collection in*

- Neuroscience and Biobehavioral Psychology* (Issue January). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809324-5.23571-2>
28. Stanovich, K. E., & West, R. F. (2000). Individual differences in reasoning: implications for the rationality debate? *The Behavioral and Brain Sciences*, 23(5), 645–726. <https://doi.org/10.1017/s0140525x00003435>
29. Steward, M. (2017). Empathy and the Role of Mirror Neurons. *All Regis University Theses*, 80.
30. Vanderwert, R. E., Fox, N. A., & Ferrari, P. F. (2013). The mirror mechanism and mu rhythm in social development. *Neuroscience Letters*, 540, 15–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.10.006>
31. Vicaria, I. M., & Dickens, L. (2016). Meta-Analyses of the Intra- and Interpersonal Outcomes of Interpersonal Coordination. *Journal of Nonverbal Behavior*, 40(4), 335–361. <https://doi.org/10.1007/s10919-016-0238-8>
32. Yavari, N., Shojaei, M., & Daneshfar, A. (2018). The Study of the Association between Mirror Neurons Activities and Electrical Activity of Muscles in Terms of Social-Comparative Video Feedback of Golf Putt in Young Females. *Neuropsychology*, 4(12), 61–76. In persian
33. Zaki, J., & Ochsner, K. N. (2012). The neuroscience of empathy: progress, pitfalls and promise. *Nature Neuroscience*, 15(5), 675–680. <https://doi.org/10.1038/nn.3085>
34. Zarshghae, M., Nori, A., & Oraizi, H. (2009). Psychometric Properties of the Persian Version of the Balanced Emotional Empathy Scale. *Psychological Methods and Models*, 1(1), 39–50. In persian
- Zheng, W.-L., Zhu, J.-Y., Peng, Y., & Lu, B.-L. (2014). EEG-based emotion classification using deep belief networks. *2014 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICME.2014.6890166>